

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



525775

(43) Date de la publication internationale  
11 mars 2004 (11.03.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/020953 A1

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :

G01D 5/241

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : NAN-  
OTEC SOLUTION [FR/FR]; 237, chemin Puech du Teil,  
F-30900 Nîmes (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2003/002587

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : ROZIERE,  
Didier [FR/FR]; 79, impasse des Hêtres, F-30900 Nîmes  
(FR).

(22) Date de dépôt international : 27 août 2003 (27.08.2003)

(25) Langue de dépôt :

français

(74) Mandataires : PONTET, Bernard etc.; Pontet Allano  
& Associés S.E.L.A.R.L., Parc-Club Orsay-Université, 25,  
rue Jean-Rostand, F-91893 Orsay Cedex (FR).

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

02/10754

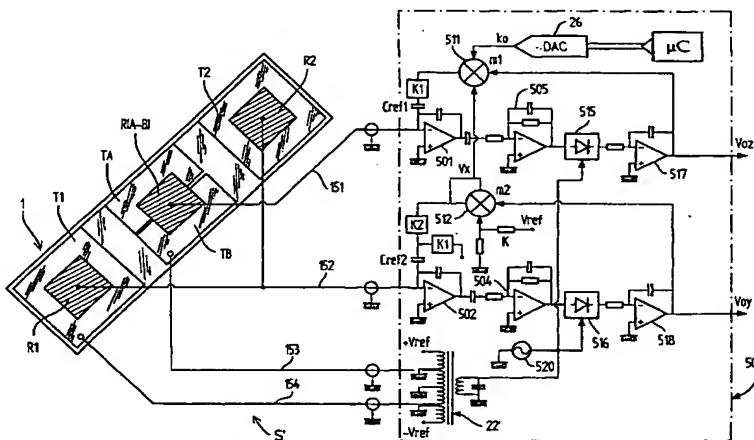
30 août 2002 (30.08.2002) FR

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,  
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR CAPACITIVE MEASURING

(54) Titre : SYSTEME ET PROCEDE DE MESURE PAR VOIE CAPACITIVE



(57) Abstract: The invention concerns a system (S') for non-contact measurement of a relative displacement or relative position of a first object relative to a second object, comprising: a sensor module (1) including a transmitter plate fixed to the first object and a receiver plate connected to the second object, arranged substantially facing each other and provided with respectively transmitting and receiving electrodes; and an electronic module (500) designed to apply on the transmitting electrodes high-frequency excitation signals, and to process measurement signals derived from the receiving electrodes. The transmitting and receiving electrodes are designed to constitute a first variable capacitance based on the relative misalignment of said plates. The electronic module (500) is designed to perform an analog calculation (i) of a first signal representing the inverted capacitance and (ii) of a second signal representing the ratio of the second capacitance over the first capacitance. The invention is in particular useful for controlling segmented mirrors in large telescopes.

(57) Abrégé : Système (S') de mesure sans contact d'un déplacement relatif ou d'une position relative d'un premier objet par rapport à un second objet, comprenant: un module capteur (1) comprenant une plaque émettrice fixée au premier objet et une plaque réceptrice liée au second objet, disposées sensiblement en vis à vis et pourvues d'électrodes resp. émettrices et réceptrices, et un module électronique (500)

[Suite sur la page suivante]

BEST AVAILABLE COPY



DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,

TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

prévu pour appliquer sur les électrodes émettrices des signaux d'excitation à haute fréquence, et pour traiter des signaux de mesure prélevés sur les électrodes réceptrices. Les électrodes émettrices et réceptrices sont agencées pour constituer une première capacitance variant en fonction de la distance séparant les plaques émettrice et réceptrice et une seconde capacitance variant en fonction du désalignement relatif desdites plaques. Le module électronique (500) est conçu pour effectuer un calcul analogique (I) d'un premier signal représentatif de l'inverse de la première capacitance et (ii) d'un second signal représentatif du rapport de la seconde capacitance sur la première capacitance. Utilisation notamment pour le contrôle de miroirs segmentés dans de grands télescopes.

## SYSTEME ET PROCEDE DE MESURE PAR VOIE CAPACITIVE

5 La présente invention concerne un système de mesure sans contact d'un déplacement ou d'un positionnement relatif de deux objets adjacents, par voie capacitive. Elle vise également le procédé de mesure sans contact mis en œuvre dans ce système, ainsi que l'application de ce système au contrôle de miroirs, notamment de miroirs segmentés.

10 Le domaine principal mais non limitatif d'application de la présente invention est celui des télescopes géants à miroirs segmentés dans lesquels il est nécessaire de contrôler les dispositifs de Tip, de Tilt, et de piston des miroirs segmentés avec une grande résolution, ainsi que le rayon de courbure global du miroir désigné sous le terme de GROC.

15 La publication « Segmented Mirror Control System Hardware for CELT » de Terry S.Mast et Jerry E.Nelson parue dans les actes de SPIE 2000 divulgue ainsi un système de commande de miroirs segmentés utilisant des capteurs capacitifs de déplacement pour le contrôle tridimensionnel des segments de miroir.

20 On connaît également une utilisation de capteurs de bord (« edge sensors ») de technologie capacitive disposés sur les parois latérales de segments de miroirs.

Par ailleurs, il existe aussi des systèmes de mesure sans contact de positions relatives de pistes conductrices en cuivre sur des cartes à puce en cours d'usinage, qui mettent en œuvre un calcul de type  $(CA-CB)/(CA+CB)$ , lorsque CA et CB représentent des capacités constituées par deux électrodes émettrices et deux électrodes réceptrices en situation de désalignement relatif.

25 Le but de la présente invention est de proposer un système de mesure sans contact par voie capacitive, qui présente de meilleures performances en  
30 précision de mesure que les systèmes de mesure capacitive actuels, tout en permettant une réduction des coûts de réalisation.

Cet objectif est atteint avec un système de mesure sans contact d'un déplacement relatif ou d'une position relative d'un premier objet par rapport à un second objet, comprenant :

- un module capteur comprenant une plaque émettrice fixée audit premier objet et
- 5 une plaque réceptrice liée audit second objet, lesdites premières et seconde plaques émettrice et réceptrice étant disposées sensiblement en vis à vis et pourvues d'électrodes respectivement émettrices et réceptrices,
- des moyens pour appliquer sur lesdites électrodes émettrices des signaux d'excitation à haute fréquence,
- 10 - des moyens pour prélever sur lesdites électrodes réceptrices des signaux de mesure modulés à haute fréquence, et,
- des moyens pour traiter lesdits signaux de mesure ainsi prélevés, de façon à délivrer des signaux représentatifs du déplacement relatif ou de la position relative dudit premier objet audit second objet.

15 Suivant l'invention, les électrodes émettrices et réceptrices sont agencées pour constituer une première capacitance variant en fonction de la distance séparant les plaques respectivement émettrice et réceptrice et une seconde capacitance variant en fonction du désalignement relatif desdites plaques, et les moyens de traitement sont agencés pour réaliser, à partir des signaux de mesure

20 prélevés, un calcul analogique (i) d'un premier signal représentatif de l'inverse de ladite première capacitance et (ii) d'un second signal représentatif du rapport de la seconde capacitance sur ladite première capacitance.

Avec le système de mesure sans contact selon l'invention, on peut ainsi délivrer simultanément à la fois une information représentative de l'écartement

25 relatif de deux objets, par exemple des miroirs segmentés, et une information représentative du désalignement de ces deux objets, avec une très haute précision rendue possible par un calcul analogique sur des signaux de mesure capacitive.

Afin de maintenir des performances élevées, le calculateur analogique est

30 de préférence réalisé avec un ou plusieurs modulateurs.

Dans un mode de réalisation avantageux, les électrodes émettrices comprennent au moins une première électrode émettrice (T1) avec une première polarité, une seconde électrode émettrice (TA) avec ladite première polarité et

une électrode émettrice (TB) avec une seconde polarité inverse de ladite première polarité, les électrodes réceptrices comprennent au moins une première électrode réceptrice (R1) sensiblement en vis à vis avec ladite première électrode émettrice (T1) et une seconde électrode réceptrice (R(A-B)) sensiblement en vis à vis d'une partie de ladite seconde électrode émettrice (TA) et une partie de ladite électrode émettrice (TB) de polarité inverse.

Les électrodes émettrices peuvent par exemple comprendre deux premières électrodes émettrices (T1, T2) avec la première polarité présentant sensiblement une même première forme géométrique, et en ce que les électrodes réceptrices comprennent deux premières électrodes réceptrices (R1, R2) présentant la première forme géométrique et agencées au sein de la plaque réceptrice pour être en vis à vis respectivement desdites premières électrodes émettrices lorsque lesdites plaques émettrice et réceptrice sont en alignement.

La seconde électrode émettrice (TA) et l'électrode émettrice de polarité inverse (TB) présentent une même seconde forme géométrique, par exemple rectangulaire, et sont disposées parallèlement à proximité étroite l'une de l'autre.

La seconde électrode réceptrice (R(A-B)) est de préférence agencée au sein de la plaque réceptrice de sorte que la projection de ladite seconde électrode réceptrice sur la plaque émettrice est incluse dans un périmètre incluant les contours de la seconde électrode émettrice (TA) et de l'électrode réceptrice de polarité inverse (TB).

Les deux premières électrodes émettrices (T1, T2) et la seconde électrode émettrice (TA) peuvent être reliées électriquement et excitées par un même signal d'excitation modulé à haute fréquence, et les deux premières électrodes réceptrices (R1, R2) sont reliées électriquement.

Les moyens de traitement peuvent avantageusement comprendre des moyens pour réaliser le calcul analogique :

$$1/(C1+C2)$$

où C1 et C2 sont les capacitances constituées respectivement par les premières électrodes émettrices (T1, T2) et les premières électrodes réceptrices (R1, R2), et des moyens pour réaliser le calcul analogique :

$$CA-CB/(C1+C2)$$

où C1 et C2 sont les capacitances constituées respectivement par les premières électrodes émettrices (T1, T2) et les premières électrodes réceptrices (R1, R2), et

5 où CA-CB représente la capacitance constituée par d'une part la seconde électrode émettrice (TA) et l'électrode émettrice de polarité inverse (TB) et d'autre part, la seconde électrode réceptrice (R(A-B)).

La mesure différentielle CA-CB peut être réalisée, soit avec un émetteur bi-électrode et un récepteur mono-électrode, soit avec un émetteur mono-électrode et un récepteur bi-électrode.

10 Les capacitances C1 et C2 permettent d'éviter l'utilisation de deux amplificateurs de charge qui dégraderaient considérablement la dérive thermique de l'électronique.

Les mesures séparées de  $(CA-CB)/(C1+C2)$  et  $1/(C1+C2)$  permettent ainsi d'effectuer des mesures radiales et axiales.

15 Les moyens de traitement comprennent de préférence un étage préamplificateur (20) pour pré amplifier les signaux de mesure prélevés respectivement sur la seconde électrode réceptrice (R(A-B)) et sur les deux premières électrodes réceptrices (R1, R2) reliées électriquement, en amont des moyens de calcul analogique (21).

20 Suivant un autre aspect de l'invention, il est proposé une application du système de mesure sans contact selon l'invention, pour la mesure de la position relative entre deux segments de miroirs adjacents. Dans cette application, les plaques respectivement émettrice et réceptrice sont fixées à des parois latérales en vis à vis de deux segments de miroirs adjacents, à proximité étroite des  
25 surfaces actives desdits segments de miroirs.

Suivant encore un autre aspect de l'invention, il est proposé un procédé de mesure sans contact d'un déplacement relatif ou d'une position relative d'un premier objet par rapport à un second objet, mis en œuvre dans le système selon l'invention, comprenant :

- 30
- une application de signaux d'excitation à haute fréquence sur des électrodes émettrices disposées sur une plaque émettrice fixée sur ledit premier objet,
  - un prélèvement de signaux de mesure modulés à haute fréquence sur des électrodes réceptrices disposées sur une plaque réceptrice fixée sur ledit second

objet, au moins une partie desdites électrodes respectivement émettrices et réceptrices étant sensiblement en vis à vis lorsque les plaques respectivement émettrice et réceptrice sont sensiblement alignées,

5 - un traitement desdits signaux de mesure ainsi prélevés, de façon à délivrer des signaux représentatifs du déplacement relatif ou de la position relative dudit premier objet audit second objet,

caractérisé en ce que ce traitement comprend un calcul analogique (i) d'un premier signal représentatif de l'inverse d'une première capacitance et (ii) d'un second signal représentatif du rapport d'une seconde capacitance sur ladite  
10 première capacitance, ladite première capacitance étant constituée par au moins une desdites électrodes émettrices et au moins une desdites électrodes réceptrices de façon à varier en fonction de la distance séparant les plaques respectivement émettrice et réceptrice et ladite seconde capacitance étant constituée par au moins une autre desdites électrodes émettrices et au moins  
15 une autre desdites électrodes réceptrices de façon à varier en fonction du désalignement relatif desdites plaques.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre nullement limitatif, et des dessins annexés sur lesquels :

- 20 - la figure 1 représente schématiquement les plaques respectivement émettrice et réceptrice mis en œuvre dans un système de mesure selon l'invention ;  
- la figure 2 illustre un exemple pratique de mise en œuvre d'un système de mesure selon l'invention ;  
- la figure 3 illustre schématiquement un premier exemple de réalisation de la  
25 structure interne d'un système de mesure selon l'invention ;  
- la figure 4 illustre un exemple pratique de réalisation du système de mesure de la figure 3 ; et  
- la figure 5 illustre un second exemple de réalisation d'un système de mesure selon l'invention.

30 On va tout d'abord décrire, en référence aux figures 1 et 2, un exemple de réalisation d'un module capteur mis en œuvre dans un système de mesure sans contact selon l'invention utilisé pour le contrôle d'un ensemble de miroirs segmentés. Ce module capteur 1, disposé entre deux segments de miroir M, M',

comprend une plaque émettrice T fixée sur une paroi latérale 10 du segment M et une plaque réceptrice R fixée sur une paroi latérale 11 du segment M', ces deux plaques respectivement émettrice et réceptrice T, R étant sensiblement en vis à vis et parallèles.

5 La plaque émettrice T comprend, sur un support plan 12 de faible épaisseur en matériau isolant, deux première et seconde électrodes émettrices T1, T2 de polarité positive de forme carrée reliées électriquement à une troisième électrode émettrice TA de polarité positive de forme rectangulaire disposée entre les première et seconde électrodes émettrices. La plaque émettrice T comprend  
10 en outre une électrode émettrice de polarité négative TB de forme identique à celle de la troisième électrode émettrice TA et disposée parallèlement à celle-ci.

La plaque réceptrice R comprend, sur un support plan 14 de faible épaisseur en matériau isolant, deux première et seconde électrodes R1, R2 réceptrices de forme carrée, et une troisième électrode réceptrice R(A-B) de  
15 forme rectangulaire disposée entre les deux première et seconde électrodes réceptrices R1, R2. La surface des supports 12, 14 non occupée par les électrodes précitées est métallisée et constitue pour ces électrodes une garde électrostatique.

A titre d'exemple non limitatif, les supports 12, 14 peuvent être en matériau  
20 zérodur, ce qui permet d'obtenir la stabilité dimensionnelle requise, et sont recouvertes d'or.

Les supports peuvent aussi être en matériau souple, comme le polyimide, collé sur le miroir. Le collage, avec une résine de faible épaisseur, permet de réduire très fortement le coefficient de dilatation thermique du capteur et  
25 d'améliorer la stabilité dimensionnelle du matériau souple supportant le capteur, grâce au faible coefficient de dilatation thermique du miroir. Le matériau souple peut être réalisé avec du circuit imprimé souple classique.

Comme les deux plaques T, R respectivement émettrice et réceptrice sont disposées parallèlement et écartées par une distance, en pratique de quelques  
30 mm à quelques cm, on obtient alors une première capacitance C1 constituée par la première électrode émettrice T1 et la première électrode réceptrice R1, une seconde capacitance C2 constituée par la seconde électrode émettrice T2 et la seconde électrode réceptrice R2, et un dispositif capacitif soustractif CA-CB



constitué, d'une part, par la troisième électrode émettrice positive rectangulaire TA et l'électrode négative émettrice TB et, d'autre part, la troisième électrode réceptrice R(A-B).

Le module capteur 1 est relié par un ou plusieurs câbles blindés 15 à un module de traitement électronique 10 installé dans un rack 100 au format standard 3U qui peut contenir plusieurs modules de traitement électronique et disposé au sein d'un conteneur 101. Le câble blindé 15 est relié, d'une part, à des conducteurs électriques reliés au module capteur 1 au moyen d'un premier connecteur 16 et d'autre part, au conteneur 101 au moyen d'un second connecteur 18 puis l'équipement électronique 10 au moyen d'un troisième connecteur 17. Le rack 100 inclut aussi un module d'acquisition multi-canaux connecté aux différents modules de traitement électronique 10 et à un bus de liaison extérieure 103.

L'agencement du module capteur 1 entre deux segments de miroir permet une mesure de qualité car très proche des surfaces optiques. Par ailleurs, du fait du caractère distant des modules de traitement électronique, il n'y a pas de dissipation thermique au voisinage des segments de miroir.

On va maintenant décrire, en référence à la figure 3, un premier exemple de réalisation d'un module de traitement électronique 2 connecté d'une part au module capteur 1 via le câble blindé 15 et d'autre part à une carte numérique d'acquisition 3 pourvue d'un microcontrôleur 30 et d'une horloge 31.

Le module de traitement électronique 2 comprend un premier étage de pré amplification 20 incluant un premier préamplificateur 201 et un second préamplificateur 202 à ultra faible bruit recevant en entrée respectivement un signal prélevé sur l'électrode réceptrice R(A-B) et un signal prélevé sur les deux électrodes réceptrices R1 et R2 reliées en parallèle. Ce premier étage de pré amplification 20 est relié en sortie à un calculateur analogique 21 dont les deux signaux de sortie sont appliqués en entrée de deux convertisseurs analogique/numérique 16 bits 24, 25 délivrant des données numériques transitant vers le microcontrôleur 30 via un bus interne 300.

Le module de traitement électronique 2 comprend en outre amplificateur différentiel 22 à stabilité élevée prévu pour délivrer un signal d'excitation des trois électrodes émettrices positives T1, T2, TA et un signal d'excitation de l'électrode

émettrice négative TB. Cet amplificateur différentiel 22 reçoit un signal de référence délivré par un oscillateur de référence 23 piloté par un signal d'horloge généré par le circuit horloge 31, et délivre aussi un signal de référence de modulation appliqué en entrée du calculateur analogique 21 qui reçoit également  
5 un signal de commande d'offset représentant d'un coefficient analogique  $k_o$  délivré par un convertisseur numérique/analogique connecté au bus numérique 300. Par ailleurs, le module de traitement analogique 2 est alimenté électriquement par un module d'alimentation électrique 4 prévu aussi pour alimenter la carte numérique 3.

10 Les deux signaux d'excitation délivrés par l'amplificateur différentiel 22 sont transmis respectivement à l'ensemble des électrodes émettrices positives T1, T2, TA et à l'électrode émettrice négative TB via respectivement deux liaisons filaires 154, 153 incluses dans le câble blindé 15, tandis que les deux signaux de réception prélevés respectivement sur l'électrode réceptrice  
15 différentielle R(A-B) et sur les deux électrodes réceptrices RA, RB sont transmis en entrée de l'étage de pré amplification 20 via respectivement deux liaisons filaires 151, 152.

Le premier préamplificateur 201 est prévu pour délivrer un signal représentatif de la différence  $CA - CB$ , tandis que le second préamplificateur 202  
20 est prévu pour délivrer un signal représentatif de la somme  $C1 + C2$ . Ces deux signaux analogiques sont appliqués en entrée du calculateur analogique 21 qui est agencé pour générer deux signaux analogiques représentatifs respectivement de la quantité  $k \left[ \frac{1}{C1 + C2} \right]$  et de la quantité  $K \left[ \frac{CA - CB}{C1 + C2} \pm k_o \right]$ .

La figure 4 illustre un exemple pratique de réalisation d'un module de  
25 traitement électronique 21'. Les préamplificateurs à faible bruit 201, 202 sont réalisés selon une structure conventionnelle à partir d'amplificateurs opérationnels. L'amplificateur différentiel 22 comprend un transformateur TR comportant un enroulement primaire 221 relié à la sortie d'un amplificateur 220 auquel est appliqué un signal de référence d'oscillation Vosc, un premier  
30 enroulement secondaire 222 prévu pour délivrer une tension de référence Vref utilisée par la calculateur analogique 21, et deux enroulements secondaires 223, 224 à point milieu prévus pour délivrer les signaux d'excitation respectifs de

l'ensemble d'électrodes émettrices positives T1, T2, TA et de l'électrode émettrice négative TB.

Le calculateur analogique 21 comprend un premier module de calcul 21.1 incluant un circuit mélangeur 211 recevant en entrée le signal délivré par le premier étage préamplificateur 201 et représentatif de la quantité CA-CB, le signal délivré par le second étage préamplificateur 202 et représentatif de la quantité C1+C2, un signal d'offset délivré par le convertisseur numérique/analogique 26 et le signal de sortie Vs1z de ce premier module de calcul, et délivrant un signal appliqué en entrée négative d'un étage amplificateur différentiel 215 dont l'entrée positive est reliée à un premier commutateur 213 entre le signal de sortie du mélangeur 211 et la masse, ce premier commutateur 213 étant commandé par la tension de référence Vref.

Un second module de calcul 21.2 inclut un circuit mélangeur 212 recevant en entrée le signal délivré par le second préamplificateur 202, la tension de référence Vref, et le signal de sortie Vs1G de ce second module de calcul, et délivrant un signal qui est appliqué en entrée négative d'un étage amplificateur différentiel 216 dont l'entrée positive est reliée à un second commutateur 214 entre le signal de sortie du mélangeur 212 et la masse, ce second commutateur 214 étant aussi commandé par la tension de référence Vref.

Les sorties respectives des deux amplificateurs différentiels 215, 216 sont appliquées en entrée de deux circuits intégrateurs démodulateurs 217, 218 pour délivrer les signaux de sortie Vs1z, Vs1G du calculateur analogique 21. Ces deux signaux de sortie sont appliqués en entrée d'un multiplexeur 249 dont la sortie analogique est appliquée en entrée d'un convertisseur analogique/numérique 250 générant des données numériques destinées à être traitées par le microcontrôleur 30 de la carte numérique 3 du système de mesure sans contact selon l'invention.

On peut établir que le signal de sortie Vs1z est représentatif du rapport 
$$\frac{n+ \cdot CA - n- \cdot CB}{C1 + C2}$$
 où n- et n+ sont les nombres de spires respectifs des enroulements secondaires 223, 224 reliés respectivement à l'électrode émettrice négative TB et à l'ensemble d'électrodes émettrices positives T1, T2, TA.

On va maintenant décrire, en référence à la figure 5, un second exemple de réalisation d'un système de mesure selon l'invention. Les composants et éléments communs aux premier et second exemples de réalisation et représentés sur les figures 3 à 5 sont repérés par des références communes.

5 Ce système de mesure S' comprend un module capteur 1 du type décrit précédemment et un module de traitement électronique 500 qui met en œuvre des ponts conventionnels asservis à l'aide de modulateurs à l'entrée des amplificateurs de charge.

10 Les électrodes émettrices positives T1, T2, TA et l'électrode émettrice négative TB sont alimentées en signaux d'excitation haute fréquence par le module d'alimentation 22' piloté par le signal de sortie du circuit oscillateur 520.

La troisième électrode réceptrice R(A-B) est reliée via un conducteur 151 à l'entrée d'un premier amplificateur de charge 501, tandis que les première et  
15 seconde électrodes réceptrices R1, R2 sont reliées via un conducteur 152 à l'entrée d'un second amplificateur de charge 502.

Un premier modulateur 511, monté en multiplieur, reçoit en entrée : un premier signal de sortie Voz du module de traitement 500, un signal analogique ko généré par un convertisseur numérique-analogique (DAC) 26 piloté par un  
20 microcontrôleur ( $\mu$ C), et un signal analogique Vx produit en interne par le module de traitement 500. Ce premier modulateur 511, qui est associé à un premier coefficient de modulation m1, délivre un signal de sortie de modulation qui est appliqué via un gain K1 et une première capacité de référence Cref1 en entrée du premier amplificateur de charge 501.

25 Un second modulateur 512, monté en diviseur, auquel est associé un second coefficient de modulation m2, reçoit en entrée : un signal de référence Vref auquel est appliqué un coefficient multiplicatif K, un second signal de sortie Voy du module de traitement 500. Ce second modulateur 512 délivre un signal de sortie de modulation Vx qui est appliqué, via un gain K2 et une seconde  
30 capacité de référence Cref2, en entrée du second amplificateur de charge 502.

Les sorties de référence +Vref et -Vref du module d'alimentation 22' sont utilisées pour piloter les premier et second modulateurs 511, 512.

Le signal de sortie du premier amplificateur de charge 501 est appliqué en entrée d'un premier amplificateur haute fréquence 505 dont la sortie est appliquée en entrée d'un premier démodulateur synchrone 515. Le signal de sortie de ce premier démodulateur synchrone est appliqué en entrée d'un

5 intégrateur 517 qui délivre le premier signal de sortie Voz représentatif d'un déplacement selon l'axe z.

Le signal de sortie du second amplificateur de charge 502 est appliqué en entrée d'un second amplificateur haute fréquence 504 dont la sortie est appliquée en entrée d'un second démodulateur synchrone 516 générant un signal

10 démodulé qui est appliqué en entrée d'un second intégrateur 518 délivrant le second signal de sortie Voy.

Les deux premier et second démodulateurs synchrones 515, 516 sont pilotés par le circuit oscillateur 520.

L'utilisation d'une mesure en méthode de zéro réelle pour le module de

15 traitement électronique 500 procure un avantage décisif en termes de performance en résolution. Ceci est rendu possible par l'utilisation d'un modulateur diviseur et d'un modulateur multiplieur et par le fait que l'on injecte le signal de tension Vx dans le modulateur multiplieur 511

Les signaux de sortie Voz et Voy peuvent être exprimés de la façon

20 suivante :

$$V_{oz} = \frac{1}{m_1} \left[ \frac{n^+ C_a - n^- C_b}{n^+ (C_1 + C_2) - C_1 K_1} * \frac{K_2 \cdot C_{ref_2}}{K_1 \cdot C_{ref_1}} \right] \pm k_0$$

$$V_{oy} = \frac{K \cdot K_2 \cdot C_{ref_2} \cdot m_2}{n^+ (C_1 + C_2) - C_1 K_1}$$

Dans un exemple pratique de réalisation d'un système de mesure selon

25 l'invention, le module capteur inséré entre les segments de miroir présente les caractéristiques dimensionnelles et électriques suivantes :

Plaque émettrice :

Surface des électrodes TA et TB :	20 x 40 mm <sup>2</sup>
Surface des électrodes T1 et T2 :	40 x 40 mm <sup>2</sup>
30 Surface de la plaque émettrice :	50 x 130 mm <sup>2</sup>

Plaque réceptrice :

Surface de l'électrode R(A-B) :	20 x 30 mm <sup>2</sup>
Surface des électrodes R1 et R2 :	20 x 20 mm <sup>2</sup>
Surface de la plaque réceptrice :	50 x 130 mm <sup>2</sup>

5

Distance inter-plaques : entre 6 et 18 mm

Capacitance (pour une distance inter-plaques de 17 mm) :

CA=CB : 0.15 pF

C1=C2=0.20 pF

10

Sensibilité sur l'axe z : 30 pF/m

Sensibilité sur l'axe Y : 11 pF :m

Dans un exemple pratique de réalisation d'un équipement électronique

15 associé au module capteur décrit ci-dessus :

Bruit de mesure électronique sur l'axe Z : 10 nm/Hz<sup>1/2</sup>

Bruit de mesure électronique sur l'axe Y : 20 nm/Hz<sup>1/2</sup>

Portée sur l'axe Z : +/- 0.5 mm

Portée sur l'axe Y : 6-18 mm

20 Réglage d'offset : +/- 0.5 mm

Signal de sortie sur l'axe Z : +/- 10 V

Signal de sortie sur l'axe Y : 0-10 V

Résolution en sortie : 15 nm

(conversion A/N sur 16 bits sur l'axe Z)

25 Bande passante : 0 – 10 Hz

Dérive du gain et de l'offset : < 10 nm/°C

Résolution sur le contrôle d'offset 15 nm

(conversion A/N sur 16 bits sur l'axe Z)

Liaison série

30 Alimentation électrique : 120 ou 230 V

Rack de 8 canaux en format 3U 19 pouces

Longueur du câble capteur-électronique : 15 m

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples

sans sortir du cadre de l'invention. Le système de mesure selon l'invention peut notamment être mis en œuvre pour le contrôle de miroirs primaires segmentés et en optique adaptative, mais aussi pour le contrôle de miroirs secondaires.

### Revendications

1. Système (S, S') de mesure sans contact d'un déplacement relatif ou d'une position relative d'un premier objet par rapport à un second objet, comprenant :

- 5 - un module capteur (1) comprenant une plaque émettrice (T) fixée audit premier objet et une plaque réceptrice (R) liée audit second objet, lesdites premières et seconde plaques émettrice et réceptrice étant disposées sensiblement en vis à vis et pourvues d'électrodes respectivement émettrices et réceptrices,
  - des moyens (22) pour appliquer sur lesdites électrodes émettrices des signaux  
10 d'excitation à haute fréquence,
  - des moyens pour prélever sur lesdites électrodes réceptrices des signaux de mesure modulés à haute fréquence, et,
  - des moyens (2, 500) pour traiter lesdits signaux de mesure ainsi prélevés, de façon à délivrer des signaux représentatifs du déplacement relatif ou de la position relative  
15 dudit premier objet audit second objet,
- caractérisé en ce que les électrodes émettrices et réceptrices sont agencées pour constituer une première capacitance variant en fonction de la distance séparant les plaques respectivement émettrice et réceptrice et une seconde capacitance variant en fonction du désalignement relatif desdites plaques, et en ce que les moyens de  
20 traitement sont agencés pour réaliser, à partir des signaux de mesure prélevés, un calcul analogique (i) d'un premier signal représentatif de l'inverse de ladite première capacitance et (ii) d'un second signal représentatif du rapport de la seconde capacitance sur ladite première capacitance.

- 25 2. Système (S, S') de mesure sans contact selon la revendication 1, caractérisé en ce que les électrodes émettrices comprennent au moins une première électrode émettrice (T1) avec une première polarité, une seconde électrode émettrice (TA) avec ladite première polarité et une électrode émettrice (TB) avec une seconde polarité inverse de ladite première polarité, les électrodes réceptrices comprennent  
30 au moins une première électrode réceptrice (R1) sensiblement en vis à vis avec ladite première électrode émettrice (T1) et une seconde électrode réceptrice (R(A-B)) sensiblement en vis à vis d'une partie de ladite seconde électrode émettrice (TA) et une partie de ladite électrode émettrice (TB) de polarité inverse.



3. Système de mesure selon la revendication 2, caractérisé en ce que les électrodes émettrices comprennent deux premières électrodes émettrices (T1, T2) avec la première polarité présentant sensiblement une même première forme géométrique, et en ce que les électrodes réceptrices comprennent deux premières électrodes réceptrices (R1, R2) présentant ladite première forme géométrique et agencées au sein de la plaque réceptrice pour être en vis à vis respectivement desdites premières électrodes émettrices lorsque lesdites plaques émettrice et réceptrice sont en alignement.
4. Système de mesure selon l'une des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que la seconde électrode émettrice (TA) et l'électrode émettrice de polarité inverse (TB) présentent une même seconde forme géométrique et sont disposées parallèlement à proximité étroite l'une de l'autre.
5. Système de mesure selon la revendication 4, caractérisé en ce que la seconde électrode réceptrice (R(A-B)) est agencée au sein de la plaque réceptrice de sorte que la projection de ladite seconde électrode réceptrice sur la plaque émettrice est incluse dans un périmètre incluant les contours de la seconde électrode émettrice (TA) et de l'électrode réceptrice de polarité inverse (TB).
6. Système de mesure selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que les deux premières électrodes émettrices (T1, T2) et la seconde électrode émettrice (TA) sont reliées électriquement et sont excitées par un même signal d'excitation modulé à haute fréquence, et en ce que les deux premières électrodes réceptrices (R1, R2) sont reliées électriquement.
7. Système de mesure selon l'une des revendication 4 à 6, caractérisé en ce que les moyens de traitement comprennent des moyens pour réaliser le calcul analogique :
- $$1/(C1+C2)$$
- où C1 et C2 sont les capacitances constituées respectivement par les premières électrodes émettrices (T1, T2) et les premières électrodes réceptrices (R1, R2).

8. Système de mesure selon l'une des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que les moyens de traitement comprennent des moyens pour réaliser le calcul analogique :

$$CA-CB/(C1+C2)$$

où C1 et C2 sont les capacitances constituées respectivement par les premières électrodes émettrices (T1, T2) et les premières électrodes réceptrices (R1, R2), et où CA-CB représente la capacitance constituée par d'une part la seconde électrode émettrice (TA) et l'électrode émettrice de polarité inverse (TB) et d'autre part, la seconde électrode réceptrice (R(A-B)).

9. Système de mesure selon les revendications 7 et 8, caractérisé en ce que les moyens de traitement comprennent un étage préamplificateur (20) pour pré amplifier les signaux de mesure prélevés respectivement sur la seconde électrode réceptrice (R(A-B)) et sur les deux premières électrodes réceptrices (R1, R2) reliées électriquement, en amont des moyens de calcul analogique (21).

10. Système de mesure selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens de calcul analogique sont agencés pour traiter une information analogique d'offset délivrée par des moyens de conversion numérique /analogique connectés à des moyens numériques de contrôle.

11. Système de mesure selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que les moyens de calcul analogique comprennent des moyens pour démoduler les signaux résultant des calculs analogiques.

12. Système de mesure selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les plaques respectivement émettrice et réceptrice comportent des supports réalisés en matériau souple.

13. Système de mesure selon la revendication 12, caractérisé en ce que le matériau souple constituant les supports est du polyamide.

14. Système de mesure selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que le matériau souple constituant les supports est réalisé à partir d'un circuit imprimé souple.

5 15. Système de mesure selon l'une des revendications 12 à 14, dans lequel au moins des desdits premier et second objets comprend un miroir, caractérisé en ce que l'un au moins des-supports en matériau souple est collé audit miroir.

10 16. Système de mesure (S') selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens de traitement (500) comprennent un premier amplificateur de charge (501) dont l'entrée est reliée à la troisième électrode réceptrice R(A-B) et à la sortie d'un premier modulateur (511) monté en multiplieur, et un second amplificateur de charge (502) dont l'entrée est reliée aux première et seconde électrodes réceptrices (R1, R2) et à la sortie d'une second modulateur (512)  
15 monté en diviseur, les sorties respectives desdits premier et second amplificateurs de charge (501, 502) étant reliées respectivement en entrée d'un premier et d'un second démodulateurs synchrones (515, 516) pilotés par des moyens oscillateurs, les sorties respectives desdits premier et second démodulateurs synchrones (515, 516) étant appliqués en entrée respectivement d'un premier et d'un second  
20 intégrateurs (517, 518) délivrant respectivement un premier signal analogique (Voz) représentatif de la quantité  $K \left[ \frac{CA - CB}{C1 + C2} \pm ko \right]$  et un second signal analogique (Voy) représentatif de la quantité  $k \left[ \frac{1}{C1 + C2} \right]$ .

25 17. Système de mesure (S') selon la revendication 16, caractérisé en ce que les moyens de traitement (500) comprennent en outre un premier et un second amplificateur haute fréquence (505, 504) disposés respectivement entre, d'une part, les sorties des premier et second amplificateurs de charge (501, 502), et d'autre part, les entrées des premier et second démodulateurs synchrones (515, 516).

**18.** Application du système de mesure sans contact selon l'une des revendications précédentes, pour la mesure de la position relative entre deux segments de miroirs adjacents.

- 5     **19.** Application selon la revendication 18, dans laquelle les plaques respectivement émettrice et réceptrice sont fixées à des parois latérales en vis à vis de deux segments de miroirs adjacents, à proximité étroite des surfaces actives desdits segments de miroirs.
- 10    **20.** Application selon la revendication 19, dans laquelle le système de mesure sans contact selon l'une des revendications 1 à 11 est mis en œuvre pour le contrôle de position (Tilt, Tip, piston et rayon de courbure global du miroir (GROC)) de segments de miroir.
- 15    **21.** Application selon l'une des revendications 18 à 20, dans le domaine des télescopes de grande taille à miroirs segmentés.
- 20    **22.** Procédé de mesure sans contact d'un déplacement relatif ou d'une position relative d'un premier objet par rapport à un second objet, mis en œuvre dans le système selon l'une des revendications précédentes, comprenant :
- une application de signaux d'excitation à haute fréquence sur des électrodes émettrices disposées sur une plaque émettrice fixée sur ledit premier objet,
  - un prélèvement de signaux de mesure modulés à haute fréquence sur des électrodes réceptrices disposées sur une plaque réceptrice fixée sur ledit second
- 25    objet, au moins une partie desdites électrodes respectivement émettrices et réceptrices étant sensiblement en vis à vis lorsque les plaques respectivement émettrice et réceptrice sont sensiblement alignées,
- un traitement desdits signaux de mesure ainsi prélevés, de façon à délivrer des signaux représentatifs du déplacement relatif ou de la position relative dudit premier
- 30    objet audit second objet,
- caractérisé en ce que ce traitement comprend un calcul analogique (i) d'un premier signal représentatif de l'inverse d'une première capacitance et (ii) d'un second signal représentatif du rapport d'une seconde capacitance sur ladite première capacitance,

ladite première capacitance étant constituée par au moins une desdites électrodes émettrices et au moins une desdites électrodes réceptrices de façon à varier en fonction de la distance séparant les plaques respectivement émettrice et réceptrice et ladite seconde capacitance étant constituée par au moins une autre desdites électrodes émettrices et au moins une autre desdites électrodes réceptrices de façon à varier en fonction du désalignement relatif desdites plaques.

23. Procédé de mesure selon la revendication 22, dans lequel les électrodes émettrices comprennent deux premières électrodes émettrices (T1, T2), une seconde électrode émettrice (TA) et une électrode émettrice (TB) avec une polarité inverse de celle de la dite seconde électrode émettrice (TA), les électrodes réceptrices comprennent deux premières électrodes réceptrices (R1, R2) et une seconde électrode réceptrice (R(A-B) en vis à vis d'au moins une partie de ladite seconde électrode émettrice (TA) et d'au moins une seconde partie de ladite électrode émettrice (TB) de polarité inverse, lesdites premières électrodes émettrices et ladite seconde électrode émettrice étant reliées électriquement et excitées par un même signal d'excitation modulé à haute fréquence, et lesdites premières électrodes réceptrices étant reliées électriquement, de façon à constituer (i) une capacitance  $C1+C2$  correspondant à la mise en parallèle de deux capacitances (C1, C2) constituées respectivement par chaque première électrode émettrice (T1, T2) et chaque première électrode réceptrice (R1, R2) correspondante.

24. Procédé de mesure selon la revendication 23, caractérisé en ce que le calcul analogique comprend un calcul de la quantité :

$$1/(C1+C2)$$

où C1 et C2 sont les capacitances constituées respectivement par les premières électrodes émettrices (T1, T2) et les premières électrodes réceptrices (R1, R2).

25. Procédé de mesure selon la revendication 23, caractérisé en ce que le calcul analogique comprend un calcul de la quantité :

$$CA-CB/(C1+C2)$$

où C1 et C2 sont les capacitances constituées respectivement par les premières électrodes émettrices (T1, T2) et les premières électrodes réceptrices (R1, R2), et

où CA-CB représente la capacitance constituée par d'une part la seconde électrode émettrice (TA) et l'électrode émettrice de polarité inverse (TB) et d'autre part, la seconde électrode réceptrice (R(A-B)).

- 5    26. Procédé selon l'une des revendications 23 à 25, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, préalablement au calcul analogique, une pré amplification à ultra faible bruit des signaux de mesure prélevés respectivement sur la seconde électrode réceptrice (R(A-B)) et sur les deux premières électrodes réceptrices (R1, R2) reliées électriquement.

1 / 4

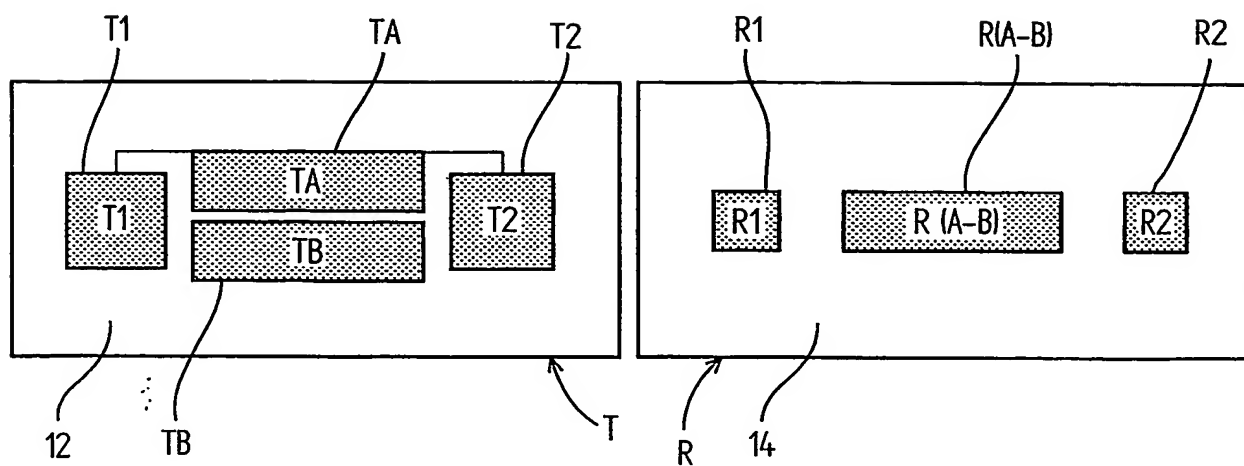


FIG. 1

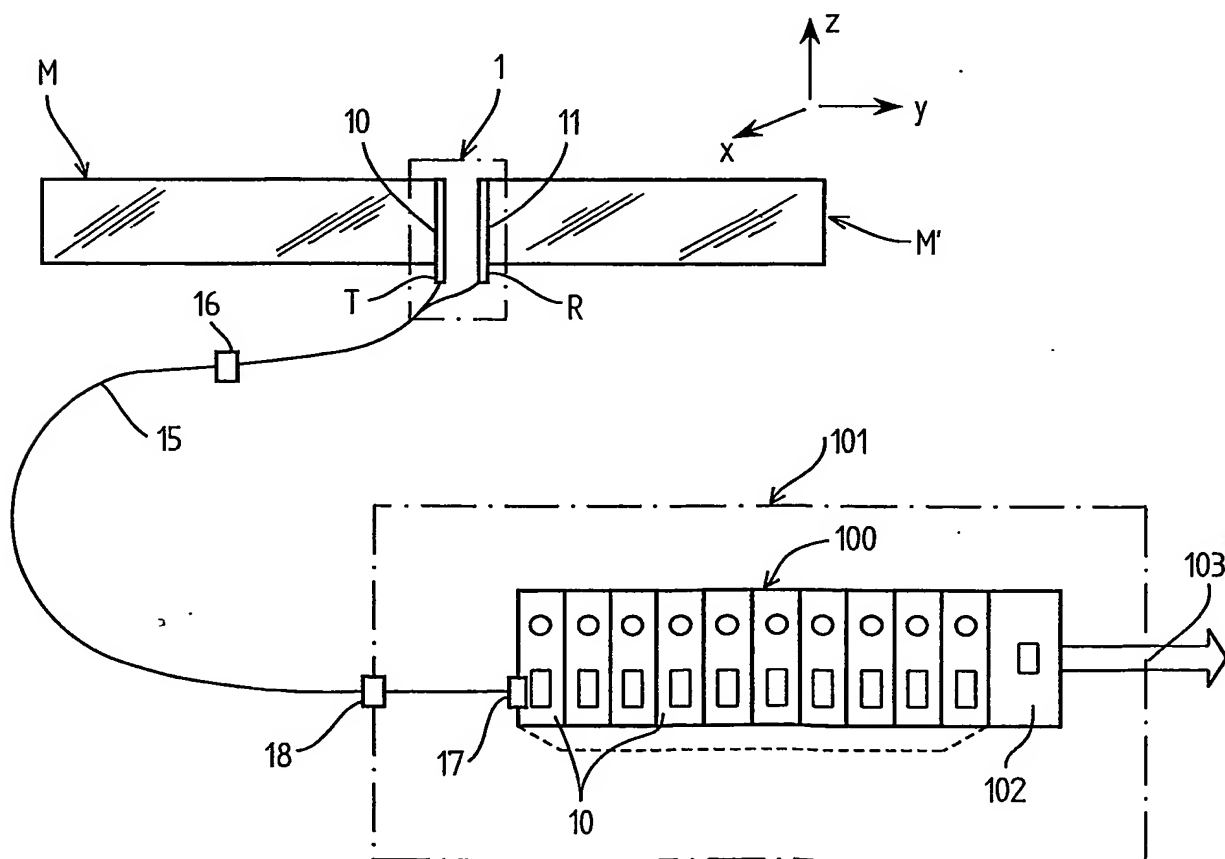


FIG. 2

2 / 4

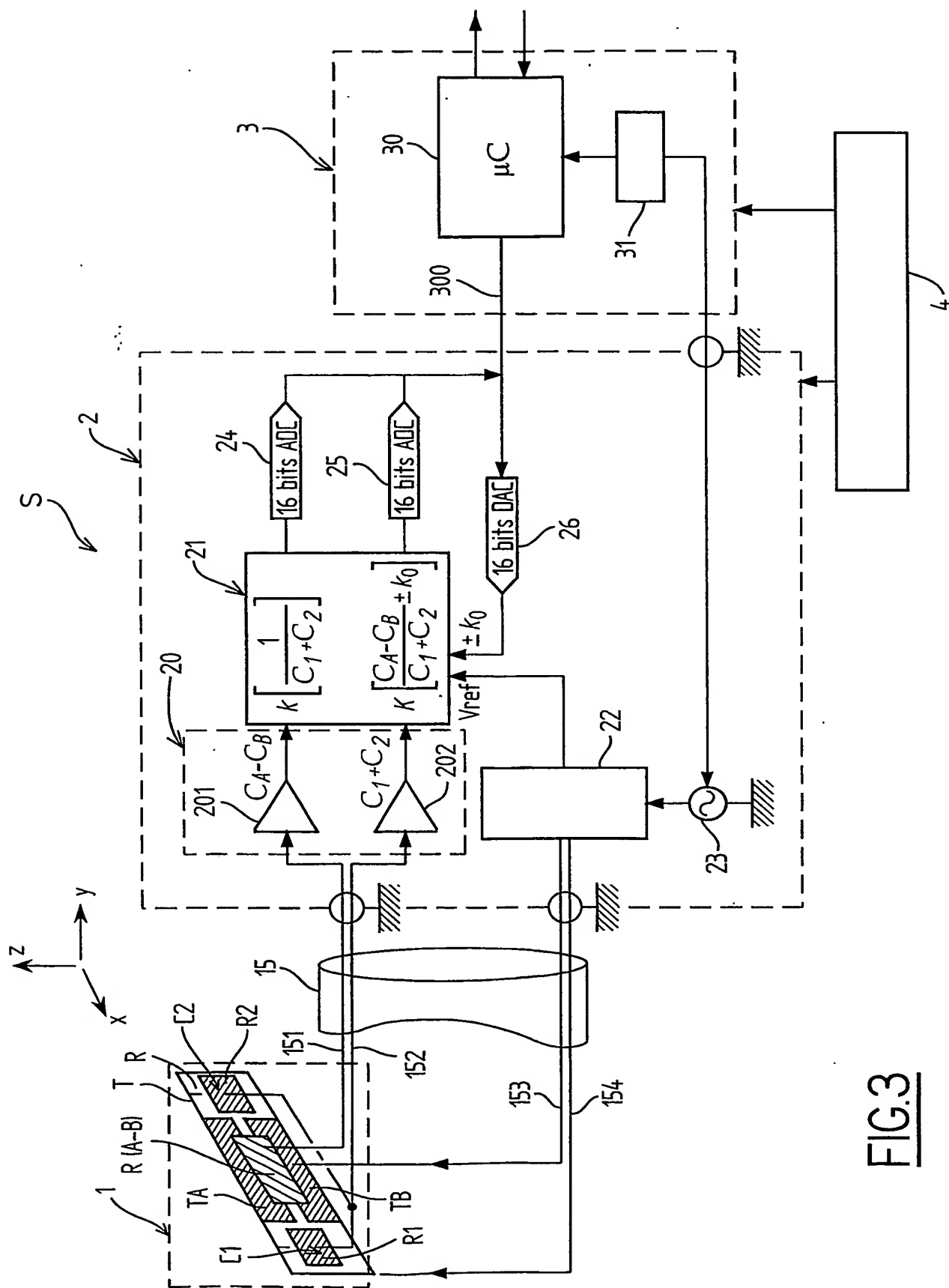


FIG. 3



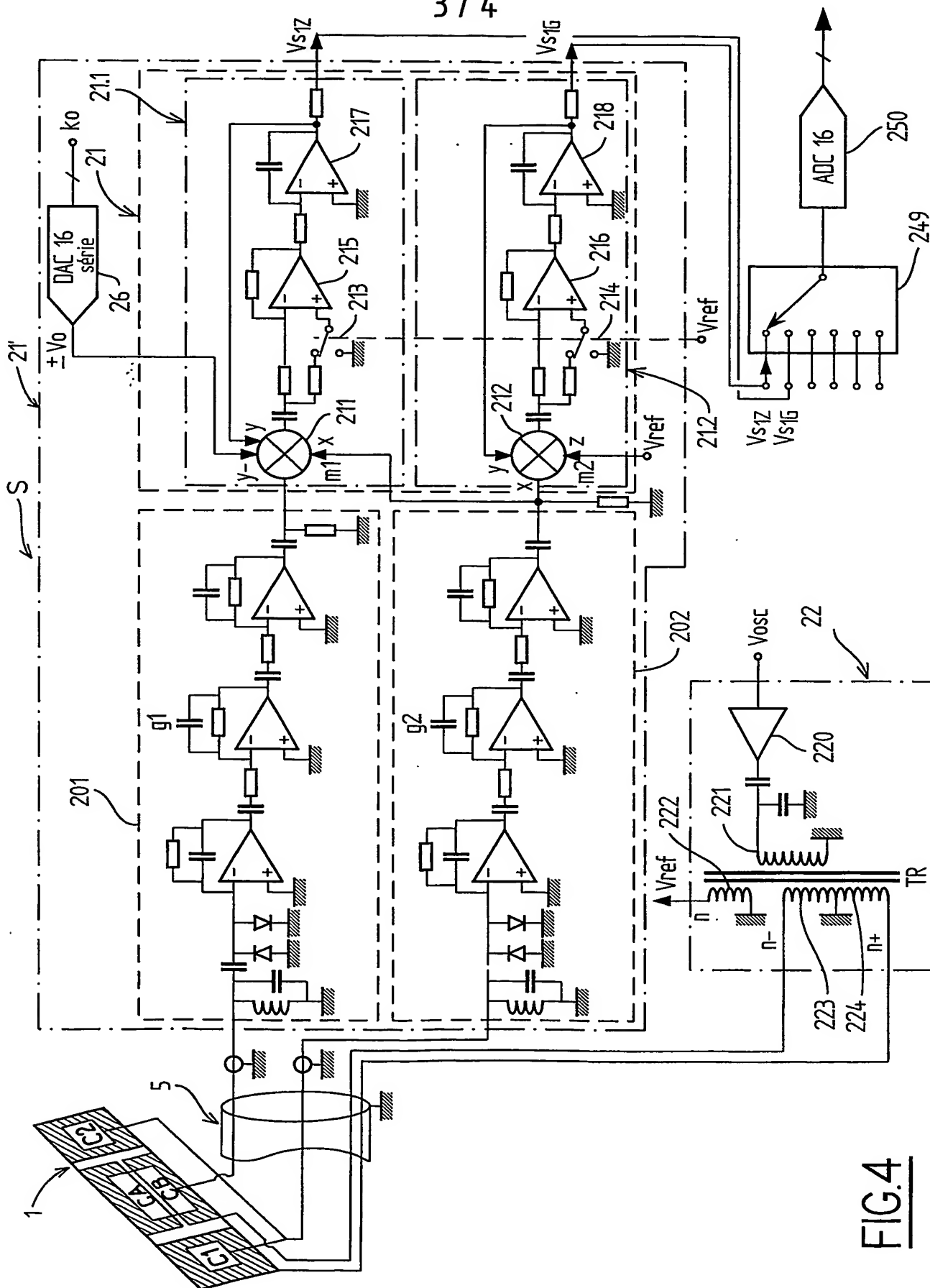


FIG. 4

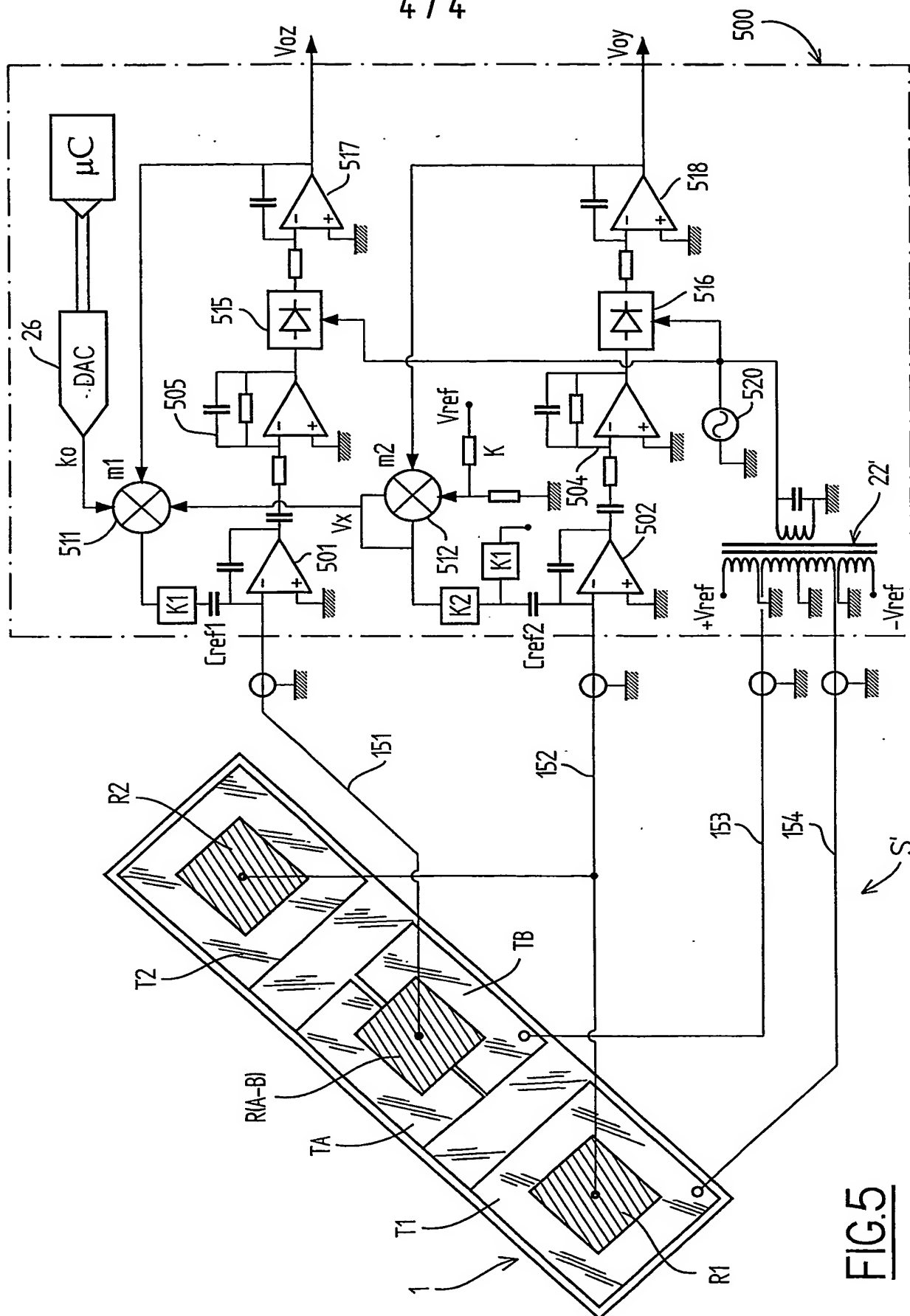


FIG. 5

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01D5/241

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 378 381 B1 (TANIGUCHI NOBUMITSU ET AL) 30 April 2002 (2002-04-30) column 10, line 28 - column 11, line 38	1-26
Y	MAST ET AL: "segmented mirror control system hardware for CELT" INTERNET HTTP://WWW.ASTRO.CALTECH.EDU/MIRROR/CELT/REPORTS/REPORT00_6.PDF, 8 May 2000 (2000-05-08), pages 1-15, XP002242697 cited in the application page 8 - page 10; figure 5	1-26
Y	EP 0 264 047 A (SEITZ PETER) 20 April 1988 (1988-04-20) figure 6	1-26

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 January 2004

Date of mailing of the international search report

04/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lloyd, P

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

on patent family members

International Application No

PCT/FR 03/02587

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 6378381	B1	30-04-2002	JP	2000249609 A	14-09-2000
			TW	438971 B	07-06-2001
EP 0264047	A	20-04-1988	DE	3634855 C1	31-03-1988
			DE	3788839 D1	03-03-1994
			EP	0264047 A2	20-04-1988
			JP	2079169 C	09-08-1996
			JP	7099346 B	25-10-1995
			JP	63171334 A	15-07-1988
			US	4836033 A	06-06-1989

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/FR 03/02587

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 G01D5/241

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 G01D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 6 378 381 B1 (TANIGUCHI NOBUMITSU ET AL) 30 avril 2002 (2002-04-30) colonne 10, ligne 28 - colonne 11, ligne 38	1-26
Y	----- MAST ET AL: "segmented mirror control system hardware for CELT" INTERNET HTTP://WWW.ASTRO.CALTECH.EDU/MIRROR/CELT/REPORTS/REPORT00_6.PDF, 8 mai 2000 (2000-05-08), pages 1-15, XP002242697 cité dans la demande page 8 - page 10; figure 5	1-26
Y	----- EP 0 264 047 A (SEITZ PETER) 20 avril 1988 (1988-04-20) figure 6	1-26

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

27 janvier 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

04/02/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lloyd, P

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/JP93/02587

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6378381	B1	30-04-2002	JP	2000249609 A	14-09-2000
			TW	438971 B	07-06-2001
EP 0264047	A	20-04-1988	DE	3634855 C1	31-03-1988
			DE	3788839 D1	03-03-1994
			EP	0264047 A2	20-04-1988
			JP	2079169 C	09-08-1996
			JP	7099346 B	25-10-1995
			JP	63171334 A	15-07-1988
			US	4836033 A	06-06-1989

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**